

# *ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ*

## Подготовка к ЕГЭ

Учитель: Попова И.А.

МОУ СОШ № 30

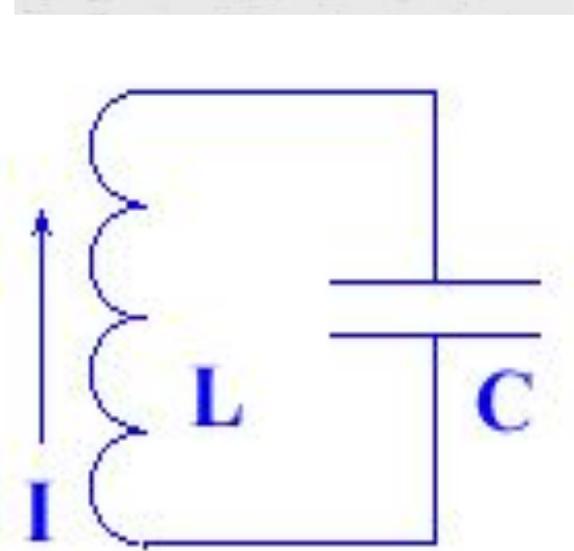
Белово 2010

## **Элементы содержания, проверяемые на ЕГЭ 2010:**

1. Свободные электромагнитные колебания.  
Колебательный контур
2. Вынужденные электромагнитные колебания
3. Переменный ток. Производство, передача и потребление электрической энергии
4. Электромагнитное поле
5. Свойства электромагнитных волн
6. Различные виды электромагнитных излучений и их применение
7. Принципы радиосвязи и телевидения

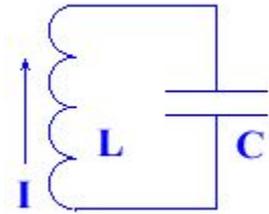
# Свободные электромагнитные колебания. Колебательный контур

- **КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ КОНТУР**, замкнутая электрическая цепь, состоящая из конденсатора емкостью  $C$  и катушки с индуктивностью  $L$ , в которой могут возбуждаться собственные колебания с частотой, обусловленные перекачкой энергии из электрического поля конденсатора в магнитное поле катушки и обратно.



$L$  – индуктивность катушки;  
 $C$  – емкость конденсатора

# Свободные электромагнитные колебания. Колебательный контур



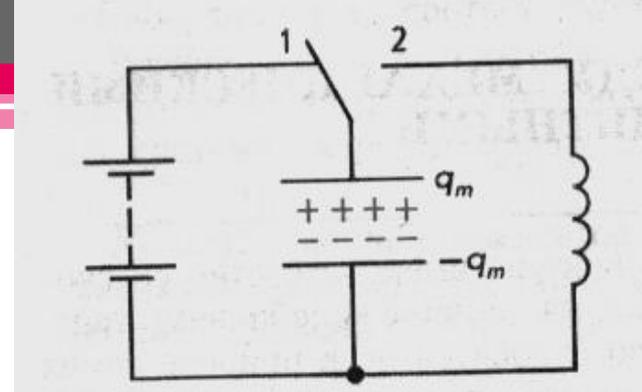
- В колебательном контуре происходят **гармонические колебания заряда**, согласно закону:

$$q = q_0 \cos(\omega_0 t + 0) \quad \text{или} \quad q = q_0 \sin\left(\omega_0 t + \frac{\pi}{2}\right)$$

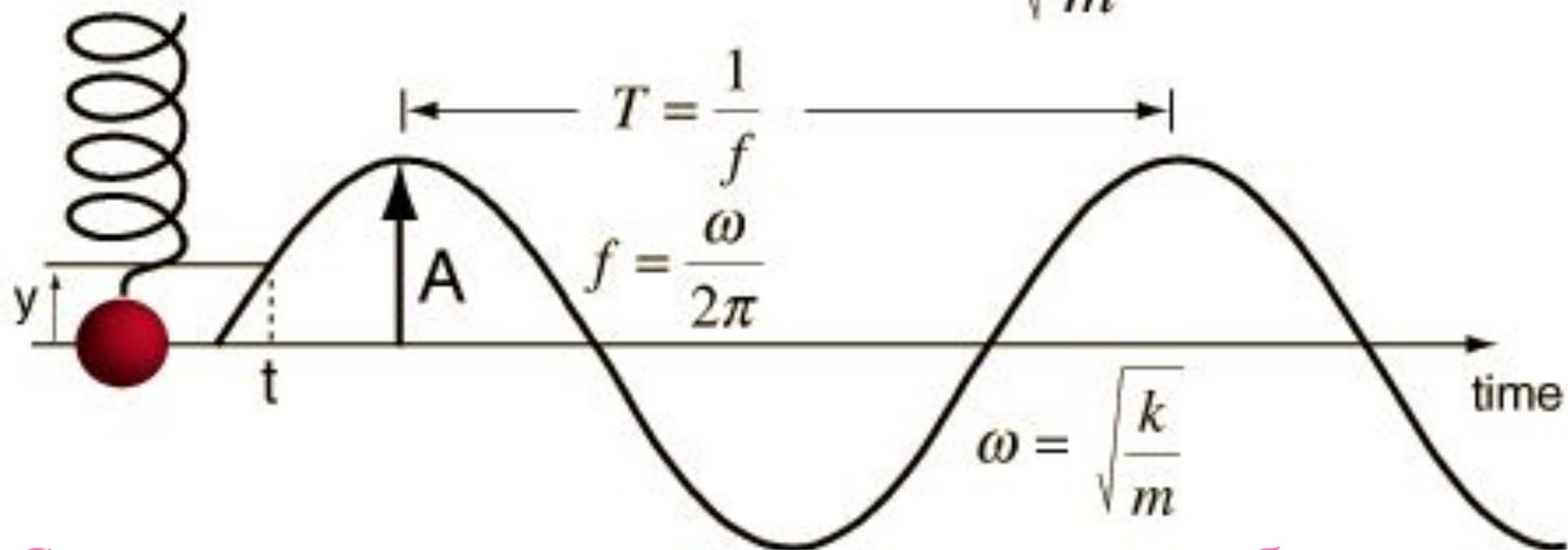
- где :  **$q$**  - мгновенное значение заряда конденсатора;
- **$q_0$**  - амплитудное значение электрического заряда;
- **$\omega_0$**  - собственная частота колебаний в контуре.

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad T = 2\pi\sqrt{LC}$$

# Гармонические колебания в простейших колебательных системах



$$y = A \sin \omega t = A \sin \sqrt{\frac{k}{m}} t$$

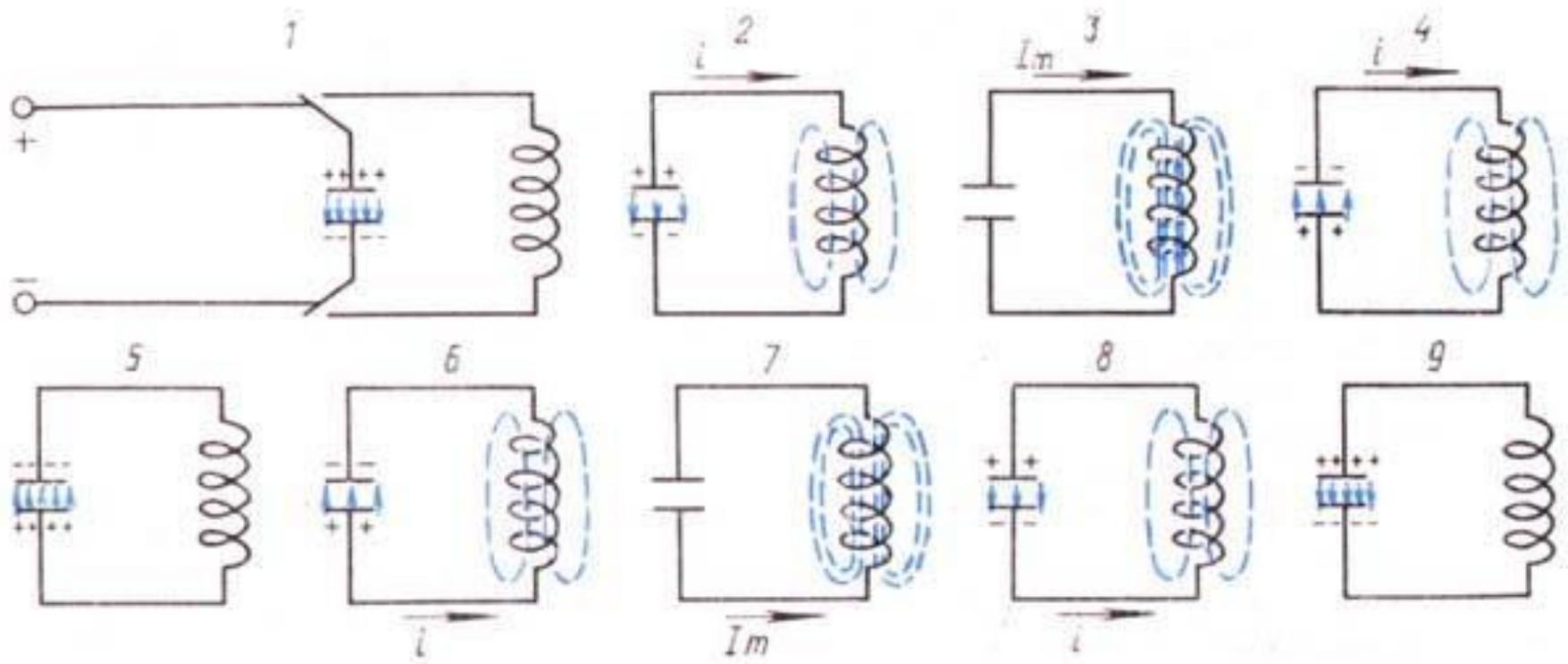
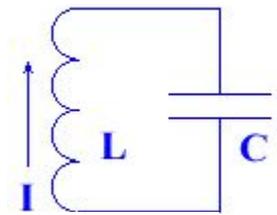


Система выводится из равновесия при сообщении конденсатору заряда

# Затухающие колебания в контуре аналогичны затухающим колебаниям груза на пружине при наличии вязкого трения

Электрические величины		Механические величины	
Заряд конденсатора	$q(t)$	Координата	$x(t)$
Ток в цепи	$J = \frac{dq}{dt}$	Скорость	$v = \frac{dx}{dt}$
Индуктивность	$L$	Масса	$m$
Величина, обратная емкости	$\frac{1}{C}$	Жесткость	$k$
Напряжение на конденсаторе	$U = \frac{q}{C}$	Упругая сила	$kx$
Энергия электрического поля конденсатора	$\frac{q^2}{2C}$	Потенциальная энергия пружины	$\frac{kx^2}{2}$
Магнитная энергия катушки	$\frac{LI^2}{2}$	Кинетическая энергия	$\frac{mv^2}{2}$
Магнитный поток	$LI$	Импульс	$mv$

# Преобразование энергии в колебательном контуре



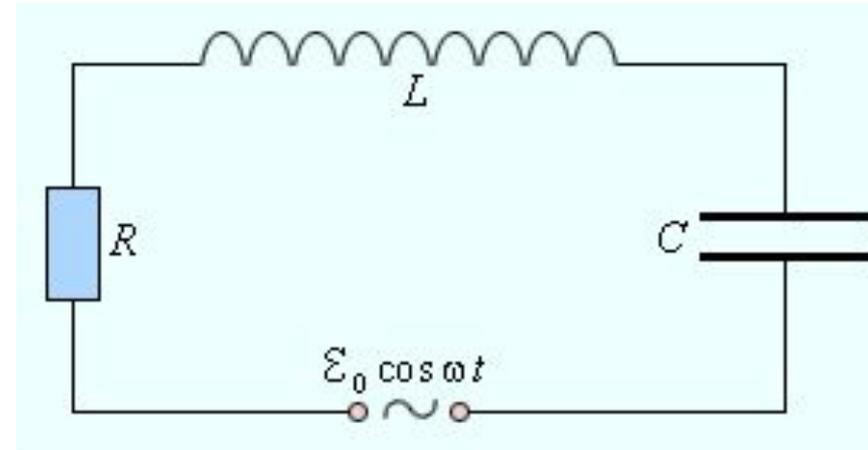
$$W_3 = \frac{CU_m^2}{2}$$

$$E = \frac{CU_m^2}{2} + \frac{LI_m^2}{2} = const$$

$$W_{\lambda\epsilon} = \frac{LI_m^2}{2}$$

# Вынужденные электромагнитные колебания

Процессы, возникающие в электрических цепях под действием внешнего периодического источника тока, называются **вынужденными колебаниями**.



- Вынужденные колебания являются **незатухающими**.
- Установившиеся вынужденные колебания всегда происходят **на частоте  $\omega$  внешнего источника**.
- Электрические цепи, в которых происходят установившиеся вынужденные колебания под действием периодического источника тока, называются **цепями переменного тока**,
- напряжение которого изменяется по периодическому закону
  - **$e(t) = \epsilon_0 \cos \omega t$**

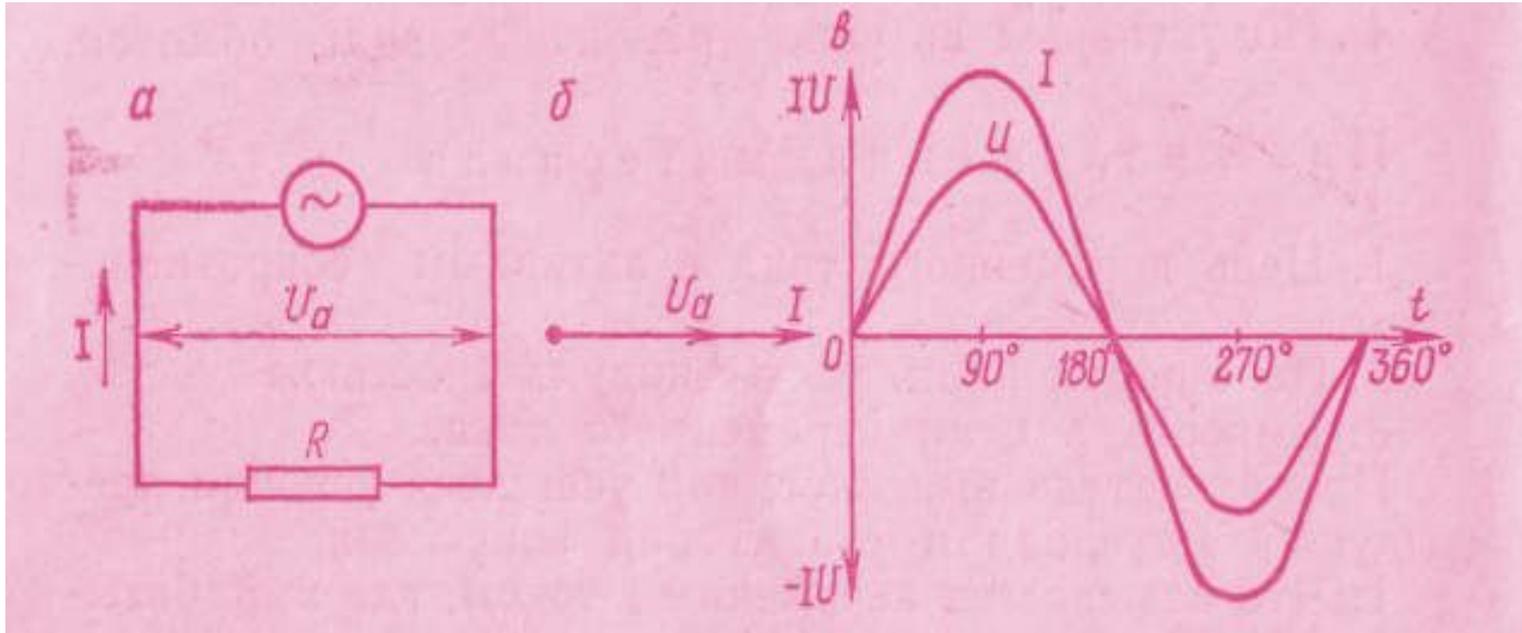
# Переменный ток. Производство, передача и потребление электрической энергии

- Периодические или почти периодические изменения заряда, силы тока и напряжения называются электромагнитными колебаниями.
- Обычно эти колебания происходят с очень большой частотой, значительно превышающей частоту механических колебаний:
- $\nu = 50 \text{ Гц}$
- Для их наблюдения и исследования самым подходящим прибором является электронный осциллограф



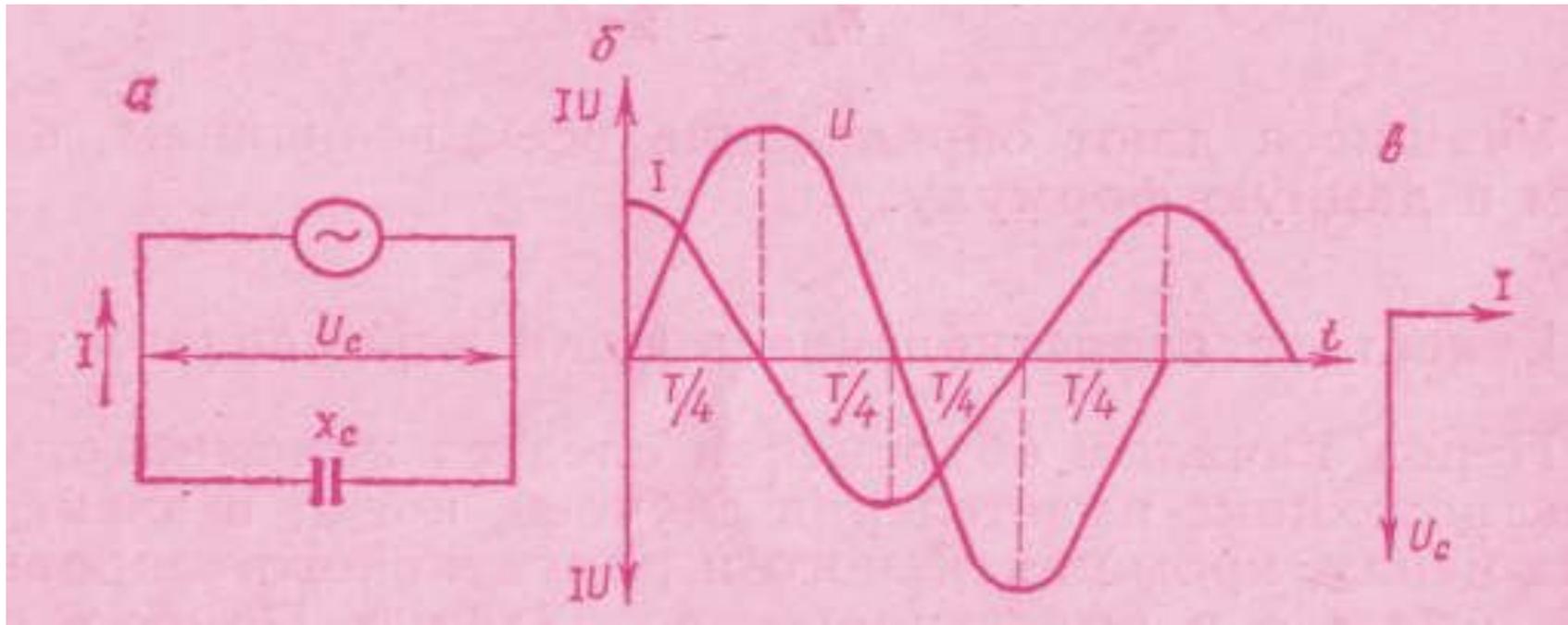
# Резистор в цепи переменного тока

- Связь между амплитудами тока и напряжения на резисторе выражается соотношением
  - $R I_R = U_R$
- **Фазовый сдвиг** между током и напряжением на резисторе **равен нулю**.



# Конденсатор в цепи переменного тока

- Соотношение между амплитудами тока  $I_C$  и напряжения  $U_C$ : 
$$\frac{1}{\omega C} I_C = U_C$$
- Ток опережает по фазе напряжение на угол  $\pi/2$

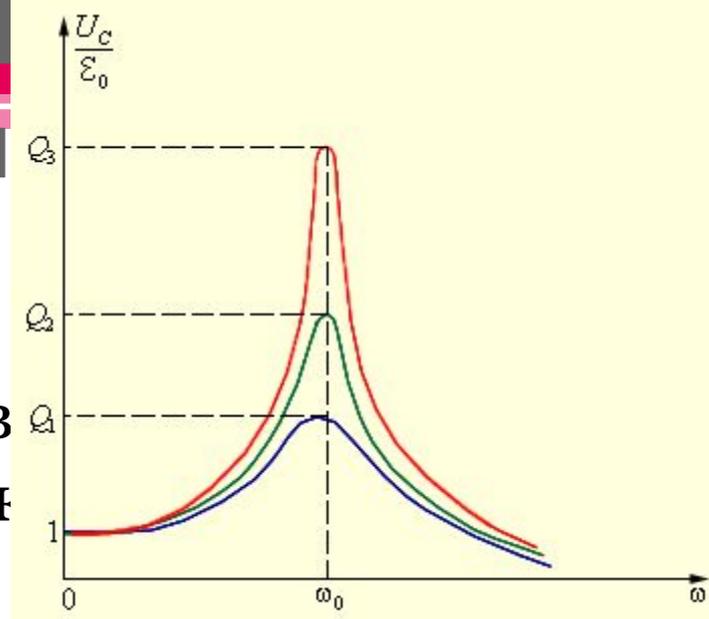




# Вынужденные колебания

## Переменный ток

- **Амплитуда тока** принимает максимальное значение при условии
- **Напряжение** внешнего источника **опережает** по фазе ток, текущий в цепи, на некоторый угол  $\varphi$

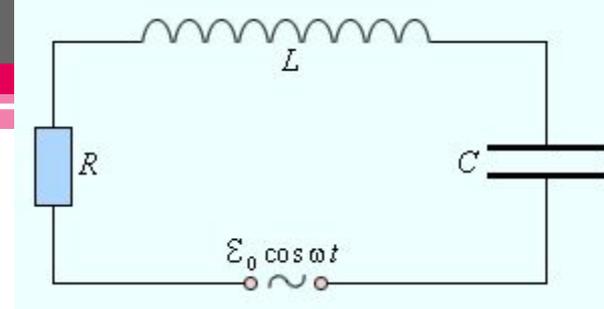


- При **резонансе**
- Резонанс в последовательной RLC-цепи называется **резонансом напряжений**.
- При резонансе **амплитуды напряжений на конденсаторе и катушке в  $Q$  раз** превышают амплитуду напряжения внешнего источника.

$$I_0 = \frac{E_0}{\sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}}; \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L - 1/\omega C}{R}$$

$$(I_0)_{\text{рез}} = \frac{E_0}{R}$$

# Закон Ома для цепи переменного тока.



- Соотношения, **связывающие амплитуды переменных токов и напряжений** на резисторе, конденсаторе и катушке индуктивности

$$RI_R = U_R; \quad \frac{1}{\omega C} I_C = U_C; \quad \omega L I_L = U_L.$$

- Физические величины  **$R$** ,  $\frac{1}{\omega C}$  и  **$\omega L$**  называются **активным сопротивлением резистора**, **емкостным сопротивлением конденсатора** и **индуктивным сопротивлением катушки**
- **Полное сопротивление** цепи переменного тока

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L - 1 / \omega C)^2}$$

- **Действующие** или **эффективные** значений силы тока и напряжения:

$$I_{\text{д}} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}; \quad U_{\text{д}} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}.$$

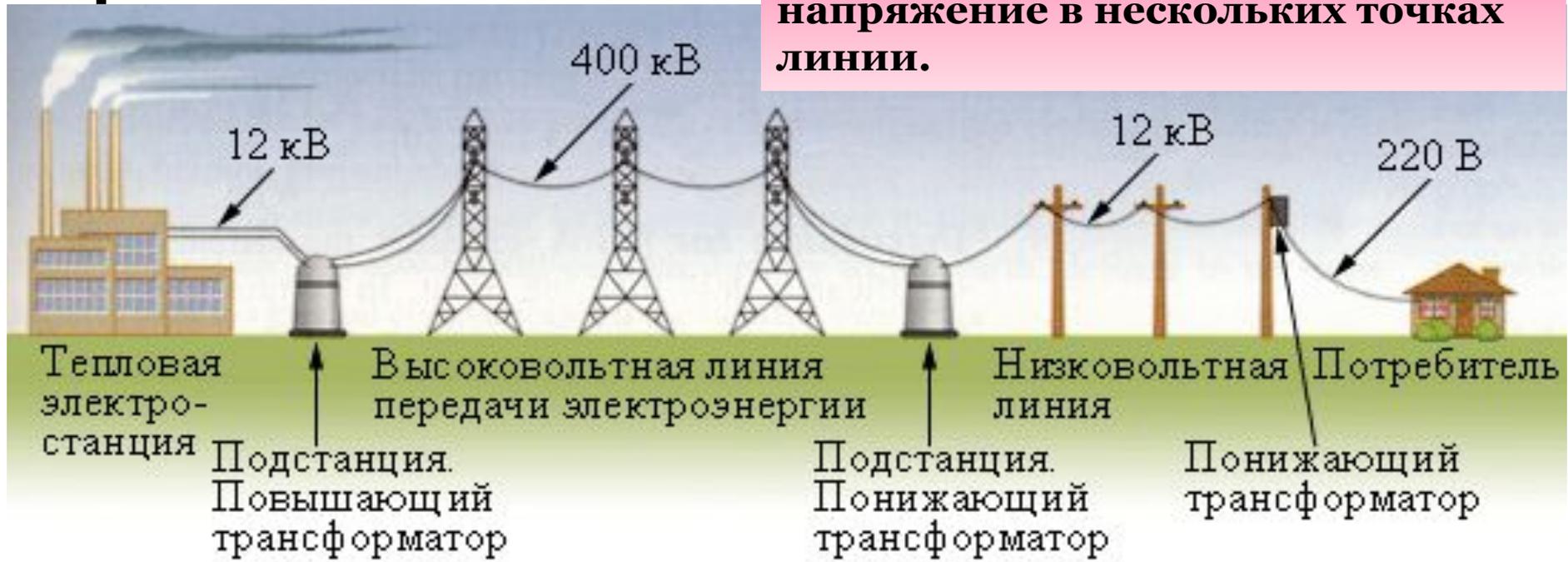
- **Закон Ома для цепи переменного тока:**

$$ZI_0 = \epsilon_0$$

$$I_0 = \frac{\epsilon_0}{\sqrt{R^2 + (\omega L - 1 / \omega C)^2}}.$$

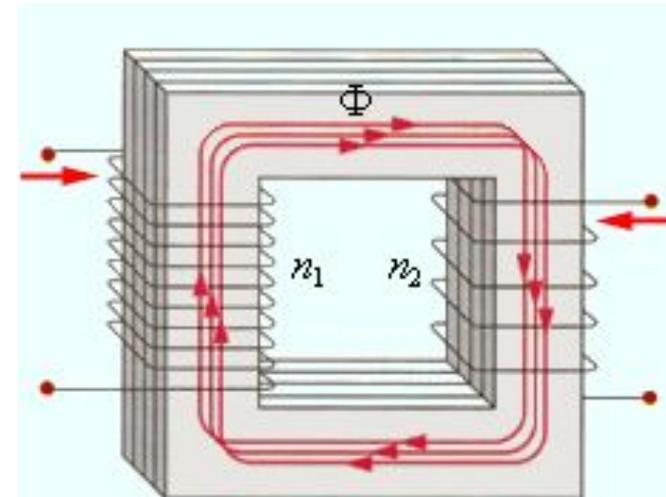
# Мощность для цепи переменного тока.

Трансформаторы изменяют напряжение в нескольких точках линии.



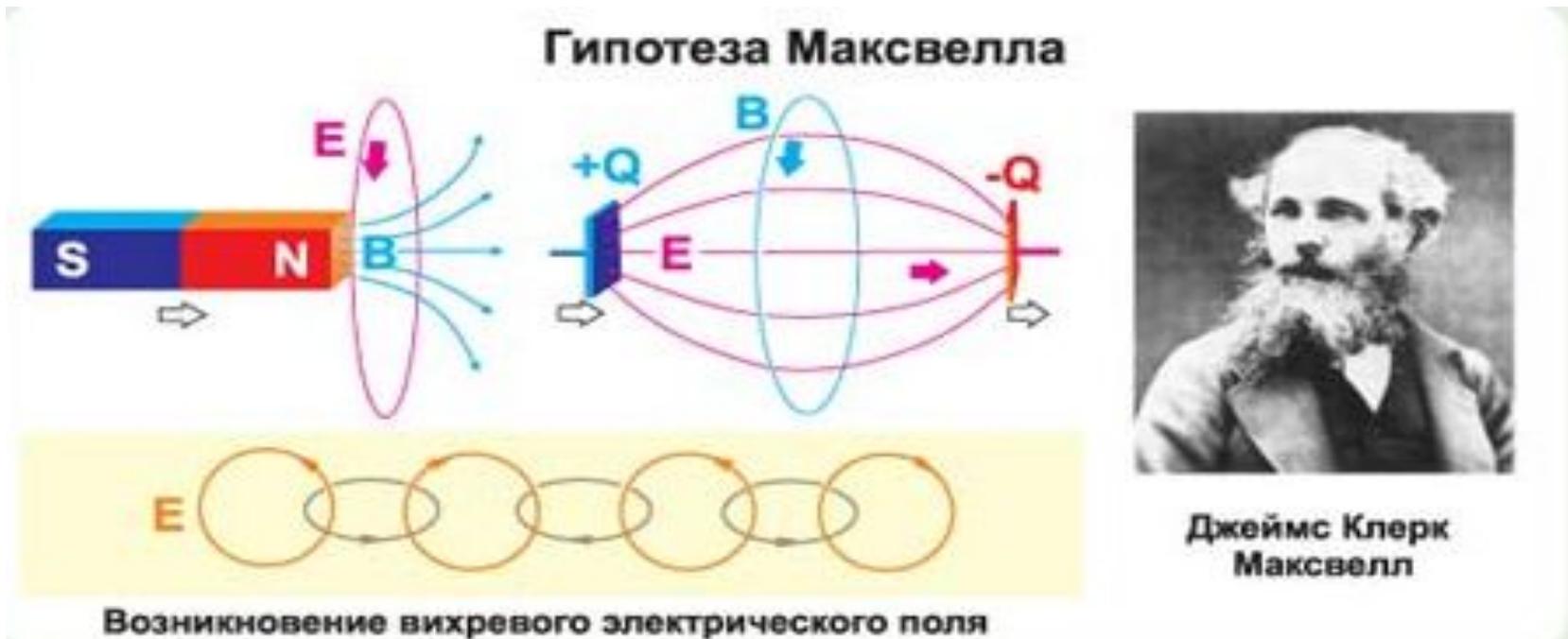
## индукции

- Коэффициент  $K = n_2 / n_1$  есть **коэффициент трансформации**.
- При  $K > 0$  трансформатор называется **повышающим**,
- при  $K < 0$  – **понижающим**
- **Коэффициент полезного действия** линии передач не превышает 90 %.



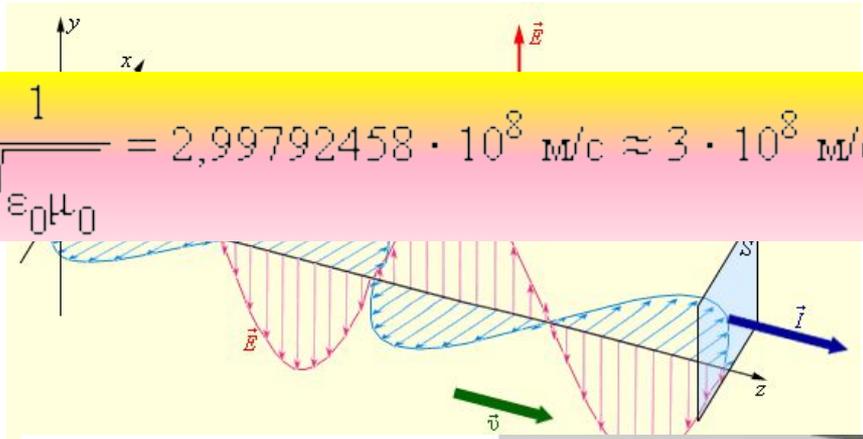
# Электромагнитное поле

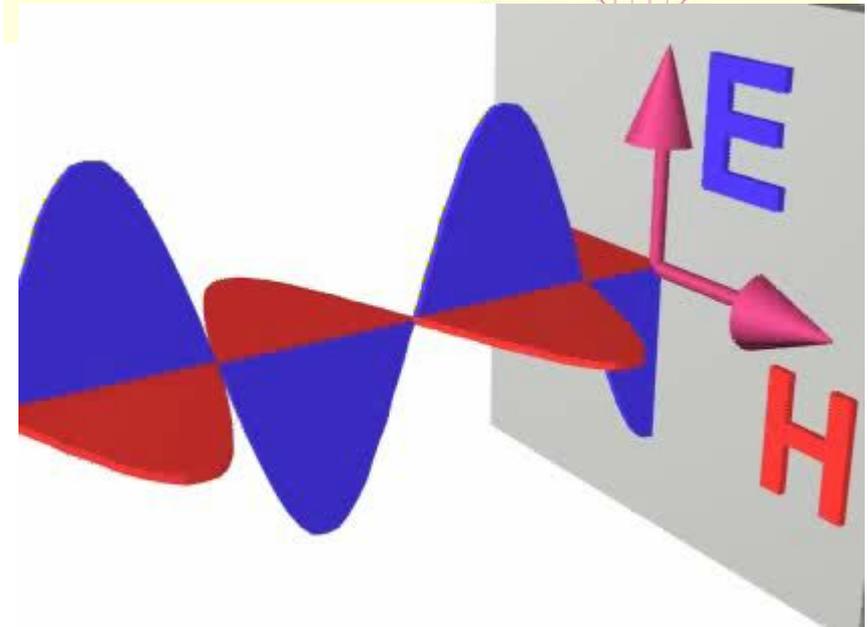
- Всякое **изменение магнитного поля** порождает в окружающем пространстве **вихревое электрическое поле**, силовые линии которого замкнуты.
- **Гипотеза Максвелла** о существовании и обратного процесса: **изменяющееся во времени электрическое поле** порождает в окружающем пространстве **магнитное поле**.



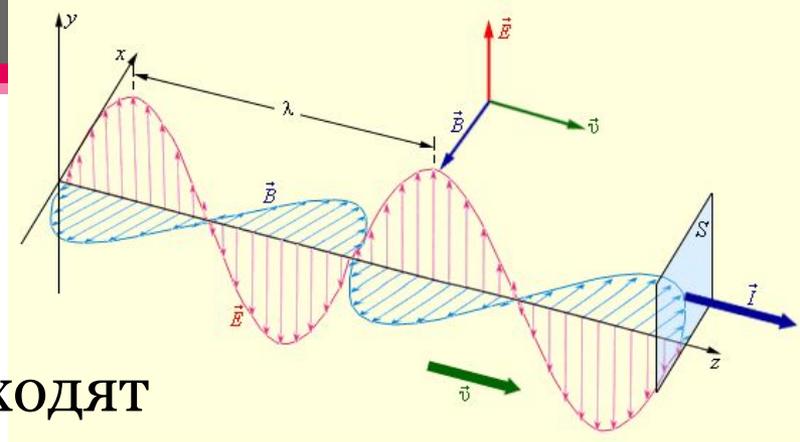
# Свойства электромагнитных волн

1. **Существуют электромагнитные волны**, то есть **распространяющееся в пространстве и во времени электромагнитное поле**.
2. Электромагнитные волны **поперечны** – векторы и перпендикулярны друг другу и лежат в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны
3. Электромагнитные волны **распространяются в веществе с конечной скоростью**

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 2,99792458 \cdot 10^8 \text{ м/с} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$




# Свойства электромагнитных волн



- В электромагнитной волне происходят **взаимные превращения электрического и магнитного полей**.
- Электромагнитные волны **переносят энергию**.
- Электромагнитные волны должны **оказывать давление** на поглощающее или отражающее тело,
- где  $w_{эм}$  – объемная плотность электромагнитной энергии,
- $c$  – скорость распространения волн в вакууме.

$$\rho_{эм} = \frac{g}{c} = \frac{w_{эм}}{c^2}$$

$$w_{эм} = \rho_{эм} c^2$$

# Экспериментальное открытие электромагнитных волн



Генрих Герц

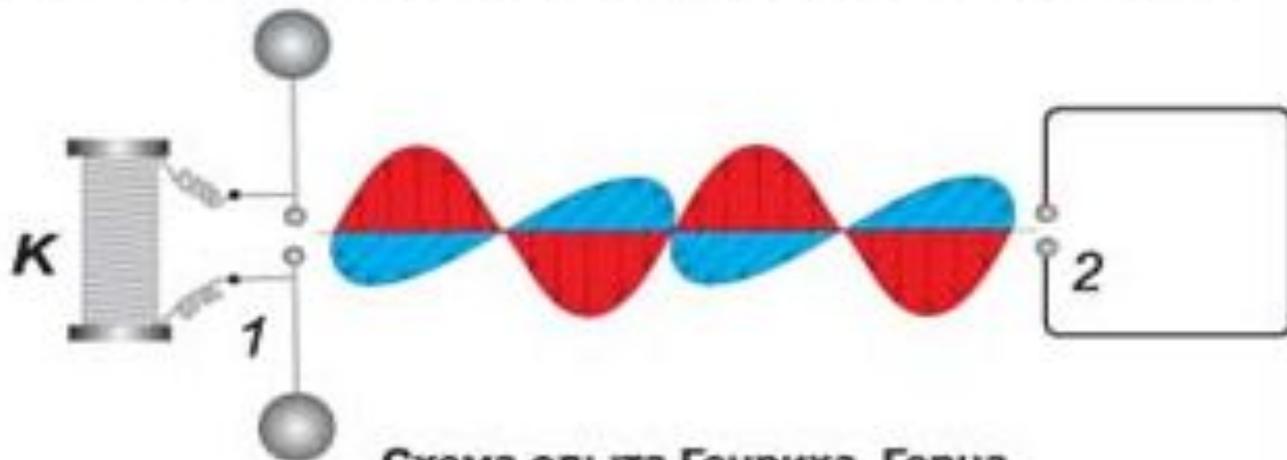


Схема опыта Генриха Герца

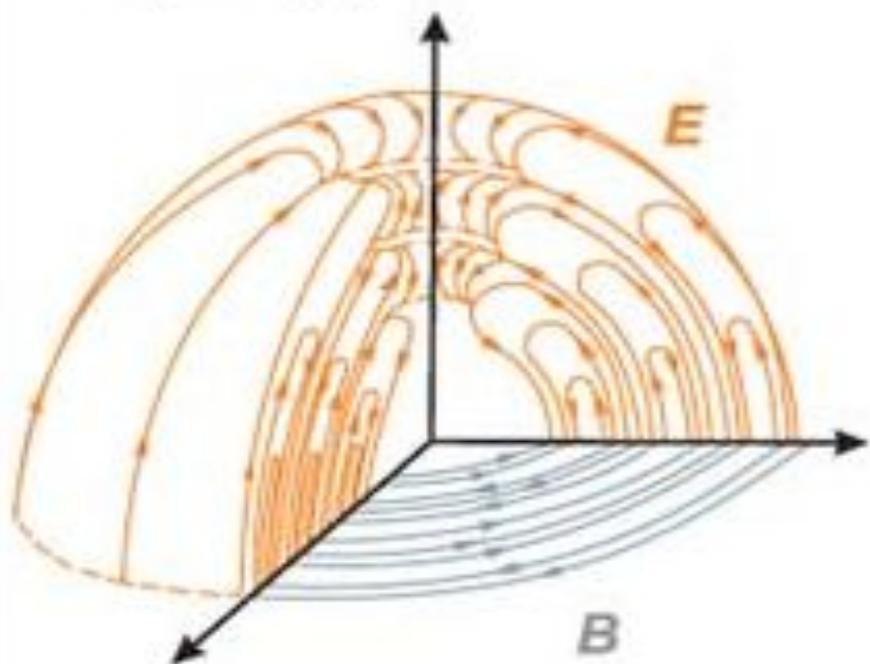


Схема возникновения электромагнитных волн

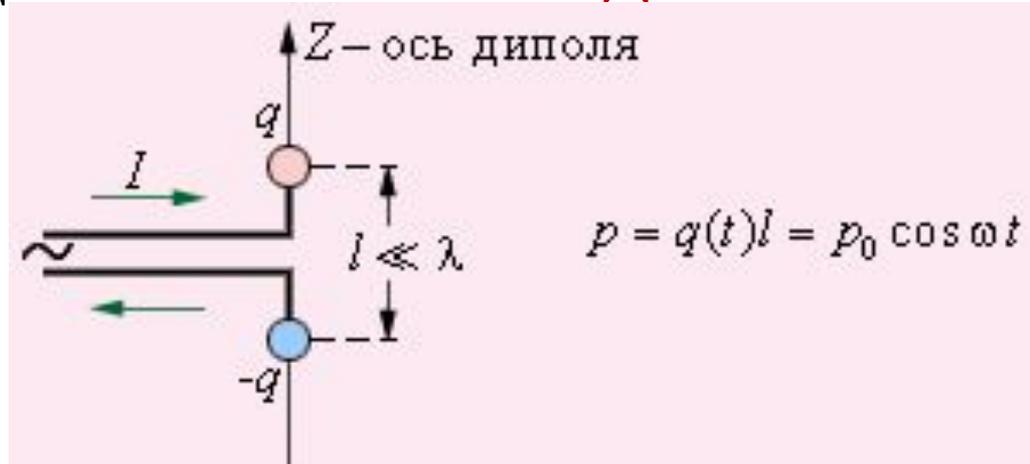
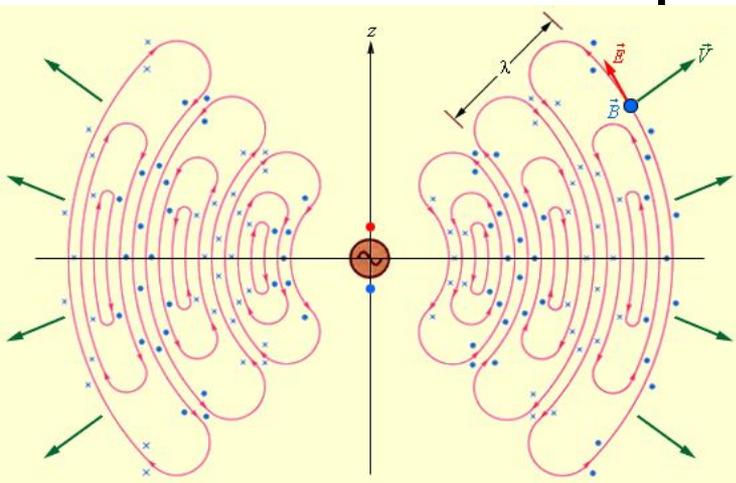


Экспериментальная установка Г. Герца

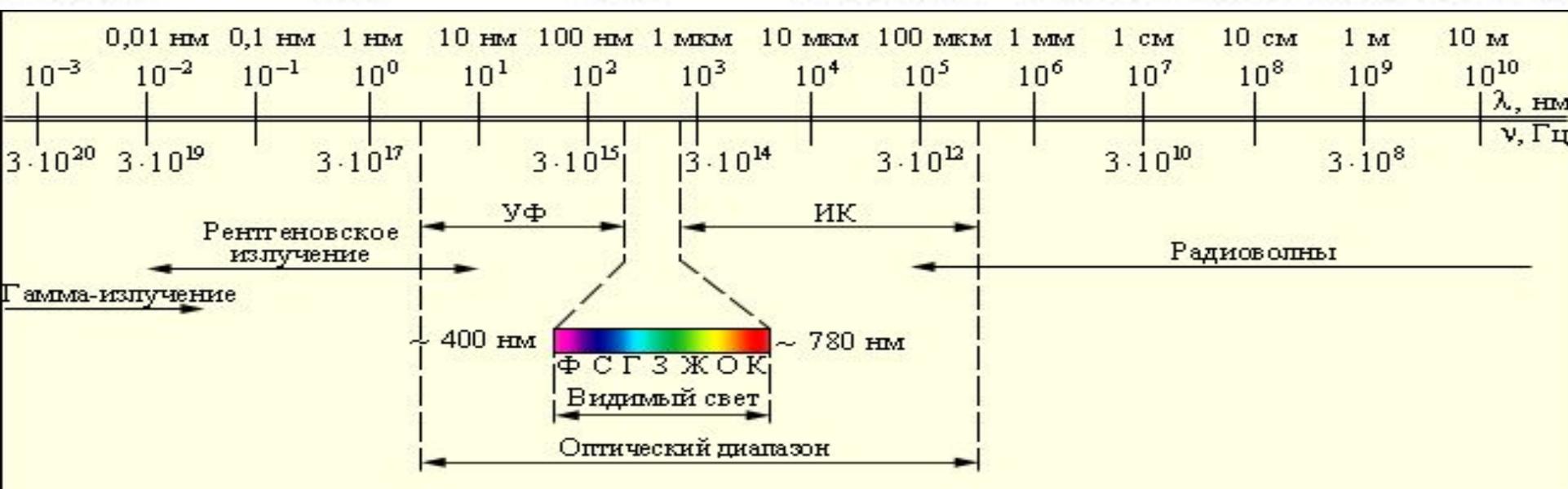
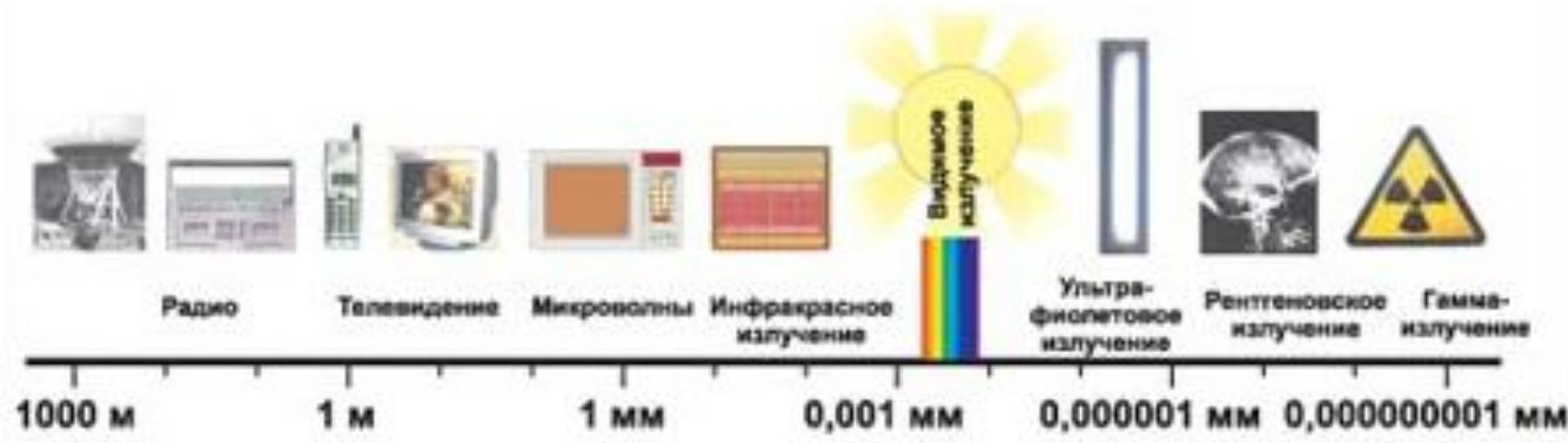
С  
Э.  
1.  
2.  
3.

# Свойства электромагнитных волн

- Электромагнитные волны могут возбуждаться только **ускоренно движущимися зарядами**
- Простейшей системой, излучающей электромагнитные волны, является небольшая по размерам **электрический диполь**, дипольный момент  **$p(t)$**  которого быстро изменяется во времени
- Такой элементарный диполь называют **диполем**



# Различные виды электромагнитных излучений и их применение



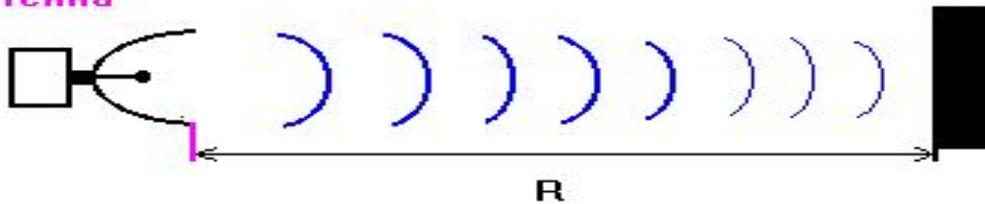
# Принципы радиосвязи и телевидения



## Радиолокация

Антенна

Объект



$$R = \frac{c \cdot t}{2} \quad \text{- расстояние до объекта.}$$

$t$  - время распространения сигнала.

$c = 3 \cdot 10^8$  м/с - скорость света.

## Эффект Доплера

Эффект Доплера состоит в изменении частоты сигнала, отражённого от движущегося тела. Доплеровское смещение частоты  $f_d$  равно:

$$f_d = f_0 \frac{v}{c} \cdot \cos A, \quad \text{где } f_0 \text{ - частота излучения, } v \text{ - скорость тела,}$$

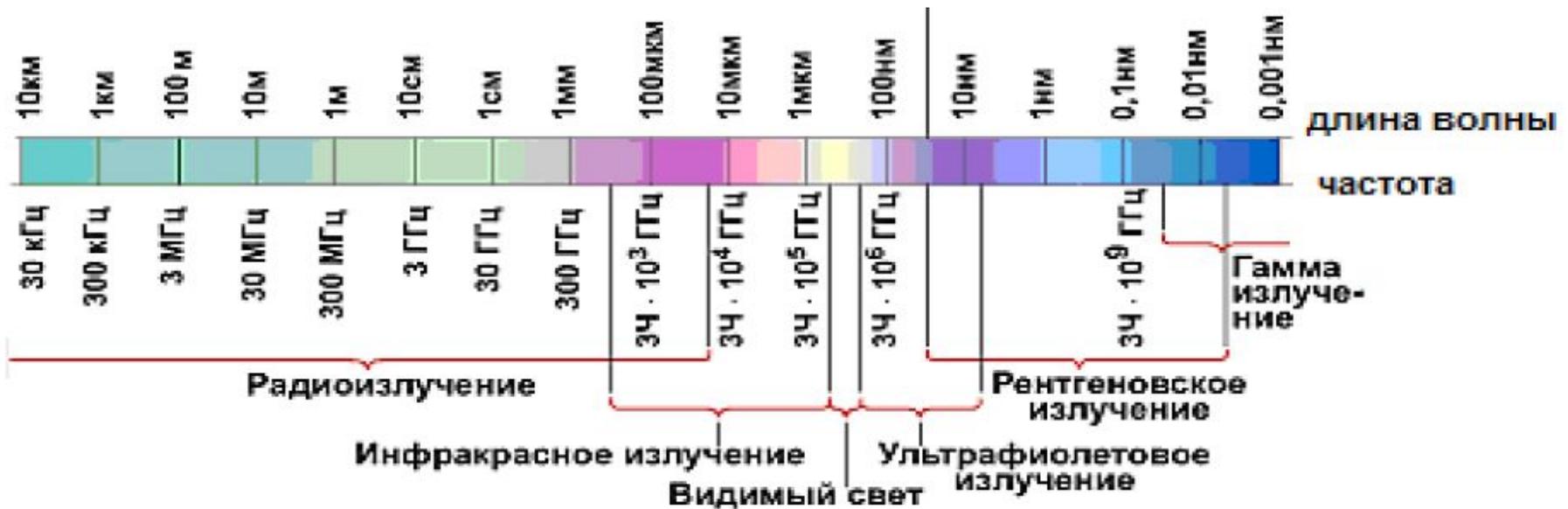
$c$  - скорость звука или света,  $A$  - угол между векторами  $\vec{v}$  и  $\vec{c}$ . Частота отражён. сигнала:

$f_{\text{отр}} = f_0 + f_d$ . При  $A=0$   $f_d = \text{max}$ . При  $A=180^\circ$   $f_d = \text{min}$ . При  $A=90^\circ$   $f_d = 0$ .

Рис. 3

ЕГЭ 2001-2010 (Демо, КИМ)  
ГИА-9 2008-2010 (Демо)

На рисунке приведена шкала электромагнитных волн. Определите, к какому виду излучения принадлежат электромагнитные волны с длиной волны 0,1



1. только радиоизлучению
2. только рентгеновскому излучению
3. ультрафиолетовому и рентгеновскому излучению
4. радиоизлучению и инфракрасному излучению

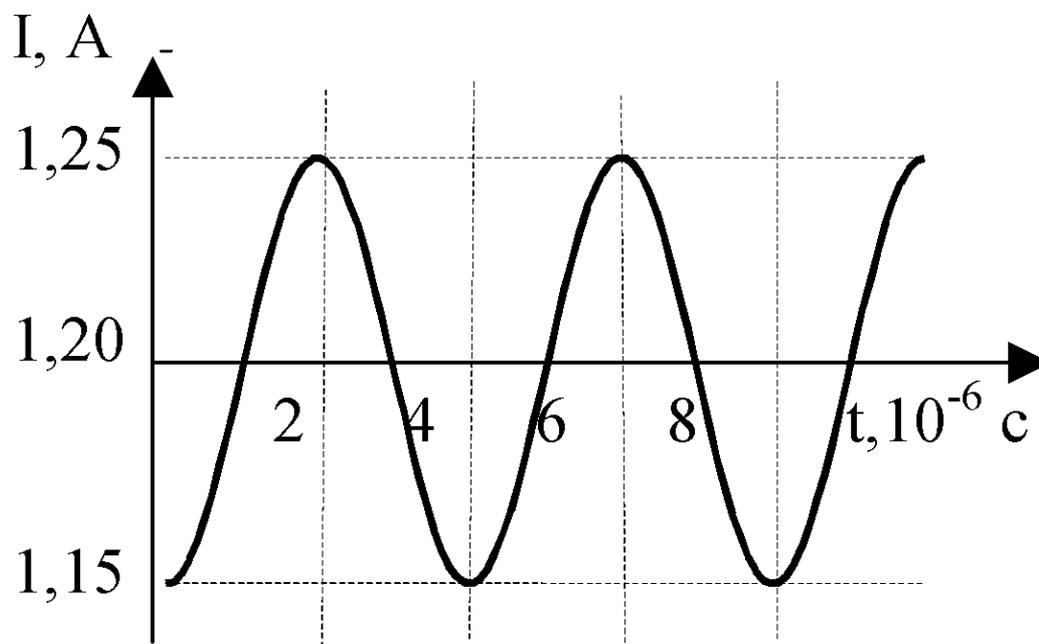
**(ГИА 2010 г.) 13.** На рисунке приведена шкала электромагнитных волн. Определите, к какому виду излучения относятся электромагнитные волны с длиной волны 1 см.



1. только к радиоизлучению
2. только к рентгеновскому излучению
3. к радиоизлучению и инфракрасному излучению
4. к ультрафиолетовому и рентгеновскому излучению

**(ЕГЭ 2001 г.) А15.** На рисунке показан график колебаний силы тока в колебательном контуре с антенной. Определите длину электромагнитной волны, излучаемой антенной.

1.  $1,2 \cdot 10^3 \text{ м}$
2.  $0,83 \cdot 10^{-3} \text{ м}$
3.  $7,5 \cdot 10^2 \text{ м}$
4.  $6 \cdot 10^2 \text{ м}$

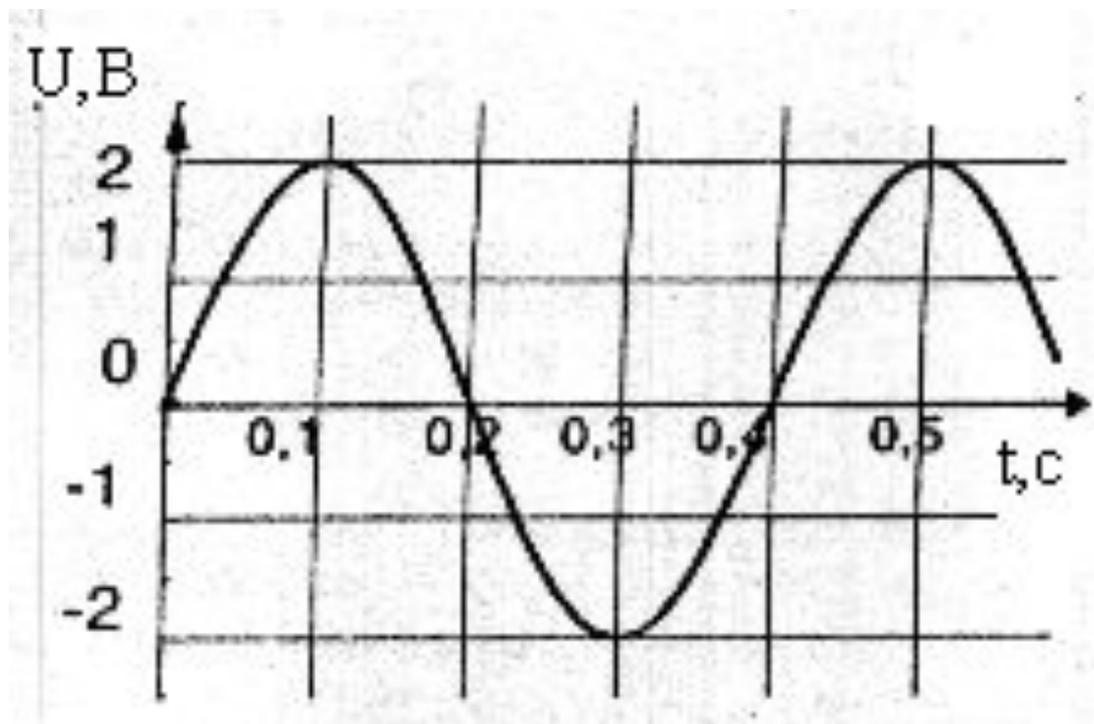


**(ЕГЭ 2001 г.) A21.** Колебания электрического поля в электромагнитной волне описывается уравнением  $E = 10\cos(10^{-12}t + \pi/2)$ . Определите циклическую частоту  $\omega$  колебаний.

1.  $10 \text{ с}^{-1}$
2.  $10^{-12} \text{ с}^{-1}$
3.  $\pi/2 \text{ с}^{-1}$
4.  $3 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$

**(ЕГЭ 2001 г., Демо) А18.** На рисунке приведен график изменения напряжения в электрической цепи с течением времени. Чему равен период колебаний напряжения?

1. 0,4 с
2. 2 В
3. 0,2 с
4. 4 В.



**(ЕГЭ 2002 г., Демо) А20.** Радиостанция работает на частоте  $0,75 \cdot 10^8$  Гц. Какова длина волны, излучаемой антенной радиостанции? (Скорость распространения электромагнитных волн  $300\,000$  км/с.)

1.  $2,25$  м
2.  $4$  м
3.  $2,25 \cdot 10^{-3}$  м
4.  $4 \cdot 10^{-3}$  м

**(ЕГЭ 2002 г., КИМ) А32.** Согласно теории Максвелла электромагнитные волны излучаются

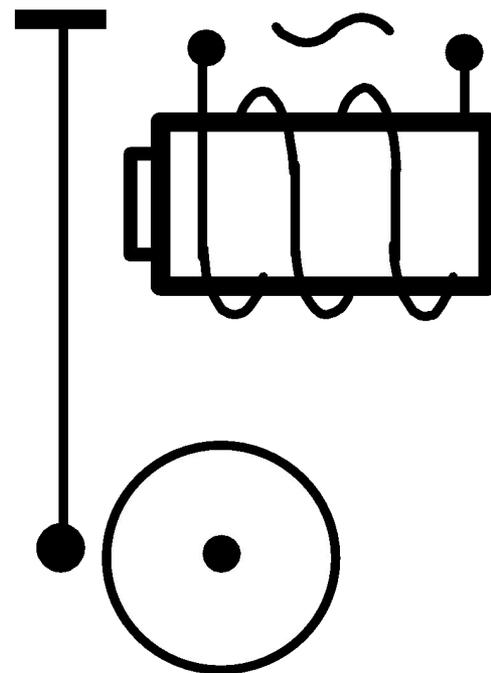
- 1) при любом неравномерном движении заряда
- 2) только при гармонических колебаниях заряда
- 3) только при равномерном движении заряда по окружности
- 4) только при равномерном движении электронов по прямой

**(ЕГЭ 2003 г., КИМ) А20.** Колебательный контур радиоприемника настроен на радиостанцию, передающую на волне 100 м. Как нужно изменить емкость конденсатора колебательного контура, чтобы он был настроен на волну 25 м? Индуктивность катушки считать неизменной.

1. увеличить в 4 раза
2. уменьшить в 4 раза
3. увеличить в 16 раз
4. уменьшить в 16 раз

**(ЕГЭ 2004 г., демо) А16.** Катушка квартирного электрического звонка с железным сердечником подключена к переменному току бытовой электросети частотой 50 Гц (см. рисунок). Частота колебаний якоря

1. равна 25 Гц
2. равна 50 Гц
3. равна 100 Гц
4. зависит от конструкции якоря

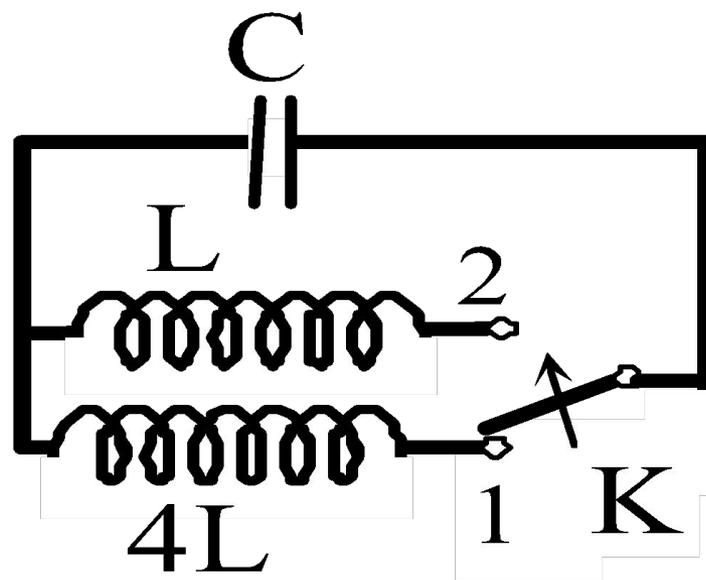


**(ЕГЭ 2004 г., демо) А17.** Скорость распространения электромагнитных волн

1. имеет максимальное значение в вакууме
2. имеет максимальное значение в диэлектриках
3. имеет максимальное значение в металлах
4. одинакова в любых средах

(ЕГЭ 2005 г., ДЕМО) А20. Как изменится частота собственных электромагнитных колебаний в контуре (см. рисунок), если ключ  $K$  перевести из положения 1 в положение 2?

1. уменьшится в 2 раза
2. увеличится в 2 раза
3. уменьшится в 4 раза
4. увеличится в 4 раза

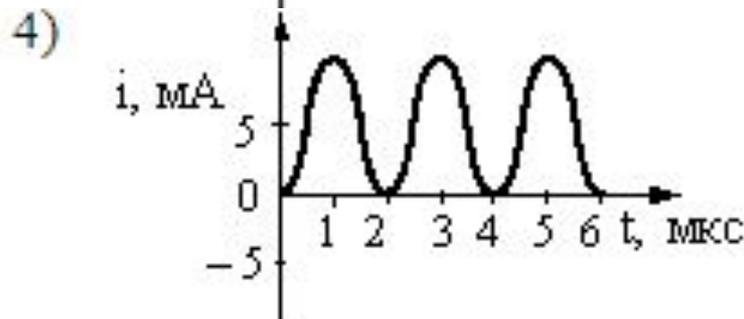
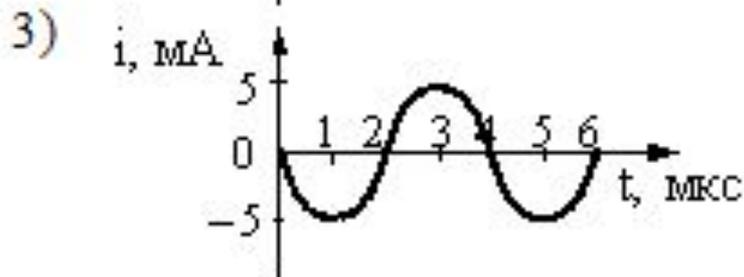
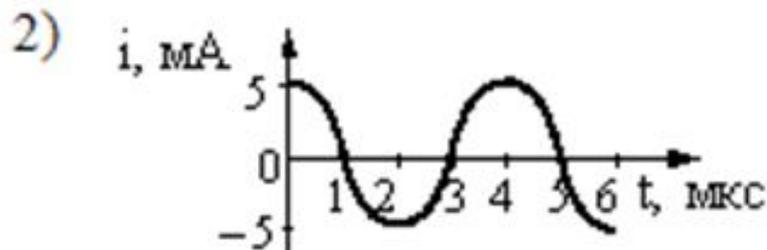
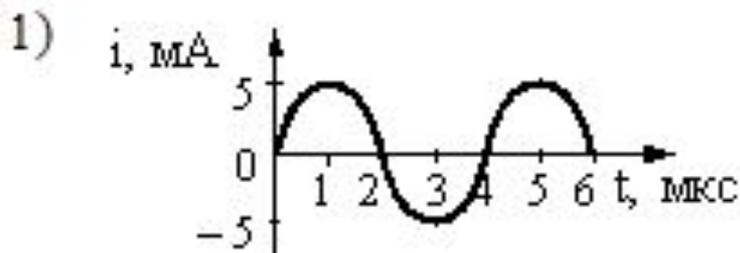
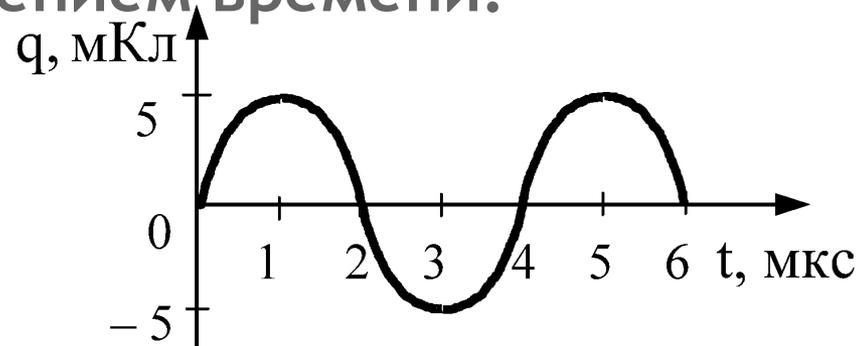


**(ЕГЭ 2006 г., ДЕМО) А29.** Последовательно соединены конденсатор, катушка индуктивности и резистор. Если при неизменной частоте и амплитуде напряжения на концах цепи увеличивать емкость конденсатора от 0 до  $\infty$ , то амплитуда тока в цепи будет

1. монотонно убывать
2. монотонно возрастать
3. сначала возрастать, затем убывать
4. сначала убывать, затем возрастать

**(ЕГЭ 2007 г., ДЕМО) А24.** На рисунке справа представлен график изменения заряда конденсатора в колебательном контуре с течением времени.

На каком из графиков правильно показан процесс изменения силы тока с течением времени в этом колебательном контуре?

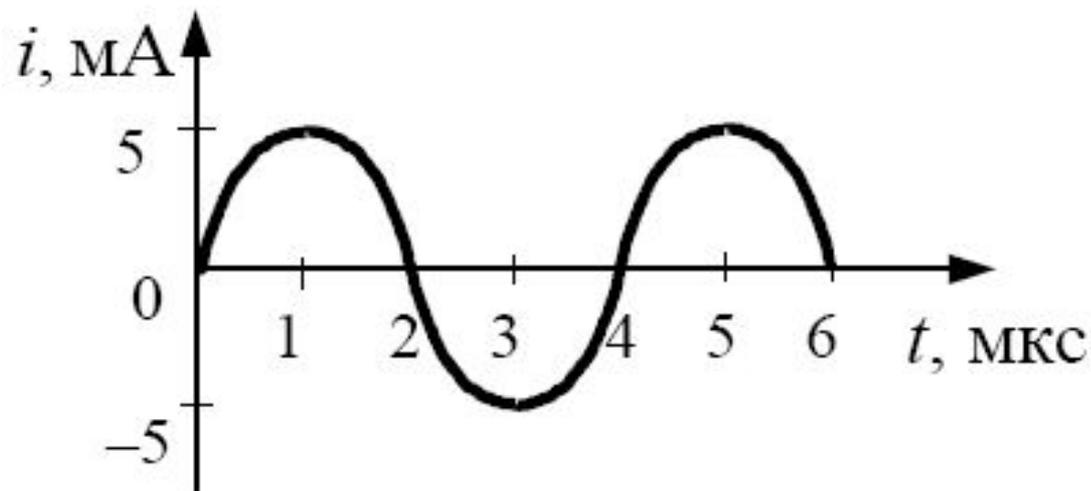


(ЕГЭ 2008 г., ДЕМО) А21. Среди приведенных примеров электромагнитных волн максимальной длиной волны обладает

1. инфракрасное излучение Солнца
2. ультрафиолетовое излучение Солнца
3. излучение  $\gamma$ -радиоактивного препарата
4. излучение антенны радиопередатчика

(ЕГЭ 2009 г., ДЕМО) А16. На рисунке приведен график гармонических колебаний тока в колебательном контуре. Если катушку в этом контуре заменить на другую катушку, индуктивность которой в 4 раза меньше, то период колебаний станет равен

1. 1 мкс
2. 2 мкс
3. 4 мкс
4. 8 мкс



**(ЕГЭ 2010 г., ДЕМО) А20.** Длина волны рентгеновского излучения равна  $10^{-10}$  м. Во сколько раз энергия одного фотона этого излучения превосходит энергию фотона видимого света с длиной волны  $4 \cdot 10^{-7}$  м?

1. 25
2. 40
3. 2500
4. 4000

1. Берков, А.В. и др. Самое полное издание типовых вариантов реальных заданий ЕГЭ 2010, Физика [Текст]: учебное пособие для выпускников. ср. учеб. заведений / А.В. Берков, В.А. Грибов. – ООО "Издательство Астрель", 2009. – 160 с.
2. Касьянов, В.А. Физика, 11 класс [Текст]: учебник для общеобразовательных школ / В.А. Касьянов. – ООО "Дрофа", 2004. – 116 с.
3. Клименко Зоя Ивановна. СВОБОДНЫЕ НЕЗАТУХАЮЩИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ В КОЛЕБАТЕЛЬНОМ КОНТУРЕ/  
<http://www.omsknet.ru/acad/tema6/frames.htm>
4. Колебательный контур. Материал из Википедии — свободной энциклопедии/  
[http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%B1%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B9\\_%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%82%D1%83%D1%80](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%B1%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%82%D1%83%D1%80)
5. Мякишев, Г.Я. и др. Физика. 11 класс [Текст]: учебник для общеобразовательных школ / учебник для общеобразовательных школ Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев . – "Просвещение", 2009. – 166 с.
6. Орлов В.А., Кабардин О.Ф. Таблицы по физике/<http://mymark.narod.ru/pic/physics1.html>
7. Открытая физика [текст, рисунки]/ <http://www.physics.ru>
8. Подготовка к ЕГЭ [/http://egephizika](http://egephizika)
9. Федеральный институт педагогических измерений. Контрольные измерительные материалы (КИМ) Физика // [Электронный ресурс]//  
<http://fipi.ru/view/sections/92/docs/>

## •Используемая литература